ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД МЕТОДОМ КАВИТАЦИИ

WASTE WATER PURIFICATION BY CAVITATION METHOD

УДК 002.304

Степанова Татьяна Викторовна, Ассистент кафедры водоснабжения и водоотведения, Воронежский государственный технический университет, Россия, г. Воронеж

Медведев Егор Васильевич, Студент 3 курс, Дорожно-транспортный факультет, Воронежский государственный технический университет, Россия, г. Воронеж

Шведов Александр Викторович, Студент 3 курс, Дорожно-транспортный факультет, Воронежский государственный технический университет, Россия, г. Воронеж

Stepanova Tatyana Viktorovna, Assistant of the Department of water supply and sanitation,Voronezh state technical University, Russia, Voronezh

Medvedev Yegor Vasilievich, Student 3rd year, faculty of Road transport, Voronezh state technical University, Russia, Voronezh

Shvedov Alexander Viktorovich, Student 3rd year, faculty of Road transport, Voronezh state technical University, Russia, Voronezh

Аннотация

Статья посвящена проблематике очистки сточных вод. Загрязнение окружающей среды – одна из главных проблем современности, которая требует немедленного решения ежедневно. Она переросла в статус ГЛОБАЛЬНОЙ с появлением на мировой арене новых технологий и развития технического прогресса. В данной статье речь пойдет об одном из распространенных видов

загрязнений и методах борьбы с ним. Мы провели исследования влияния процесса кавитации на обеззараживание осадка сточных вод. Обработку осадка проводили в гидродинамической установке с высокой производительностью. Целью работы было исследование и разработка методов, технологических схем и устройства для очистки сточных вод с использованием гидродинамической кавитации и нормирование сброса их в водоем.

Annotation

Environmental pollution is one of the main problems of our time, which requires immediate solutions on a daily basis. It has developed into a GLOBAL status with the emergence of new technologies on the world stage and the development of technological progress. This article will focus on one of the most common types of pollution and methods to combat it. We have conducted studies on the effect of the cavitation process on the disinfection of sewage sludge. The sludge was treated in a hydrodynamic plant with high productivity. The aim of the work was to study and develop methods, technological schemes and devices for wastewater treatment using hydrodynamic cavitation and to normalize their discharge into the reservoir.

Ключевые слова: загрязнение, гидроудар, очистка, сточные воды, кавитация, озонирование.

Keywords: pollution, water hammer, purification, waste water, cavitation, ozonizing.

Введение

2020-ым годом полностью овладел вирус, именуемый как «коронавирус». Он внес неизгладимые болезненные последствия в деятельность всех сфер общества, заставил по-новому смотреть на окружающий мир и вообще друг на друга, втянул весь мир в кризисное состояние, которое и по сей день продолжается, а ведь год подходит к своему завершению…

Но есть и положительные моменты, которые подарила нам пандемия: в пиковые периоды заболеваемости, когда по всему миру действовали максимальные ограничения и строгая изоляция, заметно улучшилось состояние флоры, фауны и всего того, что относится к понятию «природа».

Причины такого оживления очевидны: производство многих фирм, компаний и заводов по переработке и выбросу вредных веществ пришлось приостановить, что сразу же благоприятно повлияло на все экологические процессы.

Проблематика

Сузим сказанное ранее до загрязнения конкретной среды – водной, о которой и пойдет речь в данной статье.

Ни для кого не секрет, что давно наметилась тенденция для перехода на новые, более совершенные, оборотные схемы водоснабжения и технологии очистки сточных вод с использованием современных научных достижений в этой области.

Рациональное использование водных ресурсов, охрана их от загрязнения и истощения приобрели в настоящее время международное значение.

Водоотведение и очистка сточных вод представляют собой острую проблему, решение которой возлагается на плечи в первую очередь правительства, чтобы повлиять на глав предприятий, сбрасывающих отходы производства в водоемы.

Расходы на технологические и энергетические нужды и замену природных пресных вод очищенными сточными водами позволят снизить дефицит водных ресурсов и предотвратить истощение запаса пресных вод.

Для этого необходимо создать замкнутые системы промышленного водоснабжения, основанные на многократном использовании для производственных целей сточных вод, очищенных до норм, отвечающих требованиям, предъявляемым к качеству технической воды.

Цель работы: исследование и разработка методов, технологических схем и устройства для очистки сточных вод с использованием гидродинамической кавитации и нормирование сброса их в водоем.

Основные понятия

Кавитация - процесс парообразования и последующей конденсации пузырьков воздуха в потоке жидкости, сопровождающийся шумом и гидравлическими ударами, образование в жидкости полостей (кавитационных

пузырьков).

Характер воздействия кавитации обусловлен морфологическими особенностями и функциональным состоянием микроорганизмов. Он сводится не только к грубому разрушению микробной клетки, но также к возможным изменениям функциональных свойств бактерий.

Это связано с размерами микробных клеток и обусловлено тем, что при заданном режиме. влияния в области схлопывания кавитационных пузырьков преобладают пузыри с размерами, сопоставимыми с размерами микроорганизмов. В связи с этим, ударная волна, образующаяся при схлопывании пузырька, влияет не на всю клетку, а лишь на ее часть, принося ей при этом механические повреждения различного характера.

Для глубокой очистки сточных вод, содержащих фенолы или другие трудноокисляемые вещества, используется технологическая схема, в основе которой лежит струйный кавитатор вихревого типа.

Технологическая схема включает:

- коагуляционное осаждение примесей на первой ступени очистки фенолсодержащих сточных вод с последующим разделением фаз методом флотации;
- обработку осветленного стока пероксидом водорода с одновременным растворением стальной загрузки и воздействием кавитации на второй ступени очистки;

- осаждение гидроксидов железа и адсорбированных интермедиатов – продуктов деструкции фенолов на третьей ступени очистки.

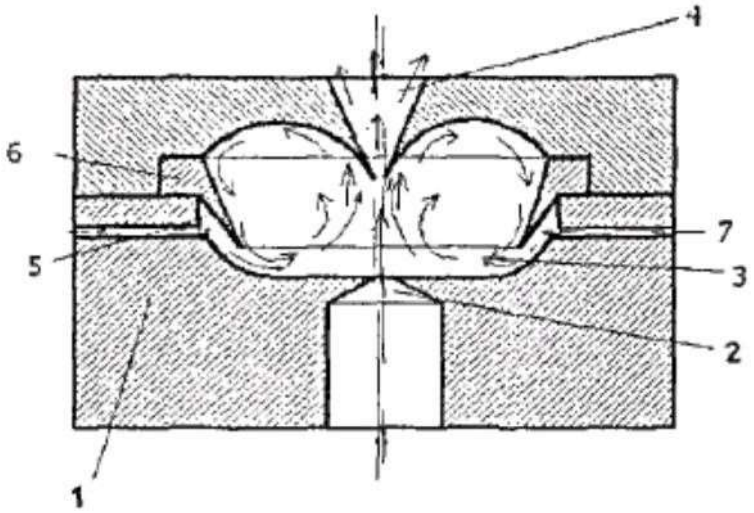


Рис. 1 «Схема струйного кавитатора» 1 – цилиндрический корпус; 2 – входное сопло; 3 – тороидальная камера; 4 – конический диффузор; 5 – ниша в виде проточки; 6 – кольцо; 7 – отверстия для подачи воздуха (газа) или жидкости.

Последовательность работы кавитатора: поток рабочей жидкости, нагнетаемой насосом под давлением, подается в сопло 2, при этом часть потока попадает в тороидальную камеру 3, а оставшаяся часть выходит через конический диффузор 4. В кавитаторе входное сопло смещено относительно оси вращения тороидальной камеры, что позволяет увеличить количество жидкости, попадающей в камеру.

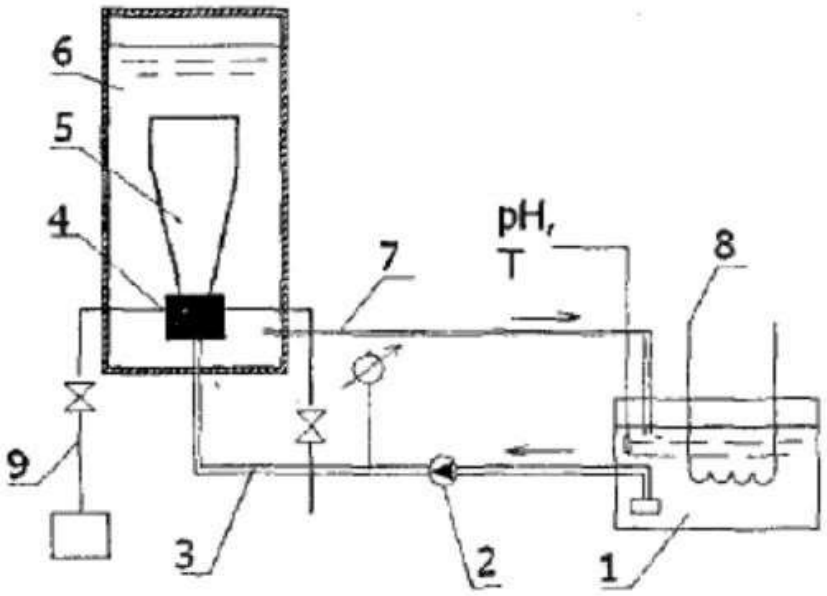


Рис. 2 «Схема установки кавитационного процесса»

1 – бак с модельным раствором; 2 – подающий насос; 3 – подающая линия; 4 – кавитатор; 5 – реактор с взвешенным слоем загрузки; 6 – реакционная зона аппарата; 7 – возврат раствора; 8 – теплообменник; 9 – подача окислителя.

В любом водозаборе чистую воду обеспечивают два фактора: фильтрация и дезинфекция (обеззараживание).

Обеззараживание воды обеспечивается такими современными средствами, как хлорирование, озонирование, ультрафиолетовое облучение, электролиз. На одном из них остановимся подробнее при сравнении с методом кавитации.

Озонирование - технология очистки, основанная на использовании газа озона (сильного окислителя).

В практике очистки сточных вод озонирование применяется для обесцвечивания стоков, удаления взвешенных и коллоидных веществ, окисления и разрушения сложных органо-минеральных комплексов.

Метод применяют на различных стадиях обработки воды: доочистки биологически очищенных сточных вод, предварительной очистки для разрушения биорезистентных примесей, глубокой очистки и обеззараживания перед выпуском сточных вод в водоемы или использованием для технологических нужд.

Расход озона на разрушение загрязняющих сточные воды веществ зависит от многих факторов: pH водной среды, температуры, концентрации загрязнений, способа смешения и продолжительности контакта озоно-воздушной смеси с водой.

В процессах очистки воды от веществ, реагирующих с озоном медленно, для достижения требуемой глубины удаления загрязнений и повышения коэффициента использования озона рекомендуется применять двухступенчатые противоточные схемы.

В реакторе первой ступени производится предварительное озонирование частично отработанной озоно- воздушной смесью, с концентрацией озона до 5 мг/л. Во второй ступени происходит окончательное окисление примесей свежей озоно- воздушной смесью.

Оборудование для озонирования сточных вод: принципиальная технологическая схема озонирования сточных вод состоит из двух основных блоков - получения озона и очистки сточных вод.

Блок получения озона (Рис. 3) включает четыре ступени: забор и охлаждение воздуха; осушка воздуха; фильтрование воздуха; генерация озона.

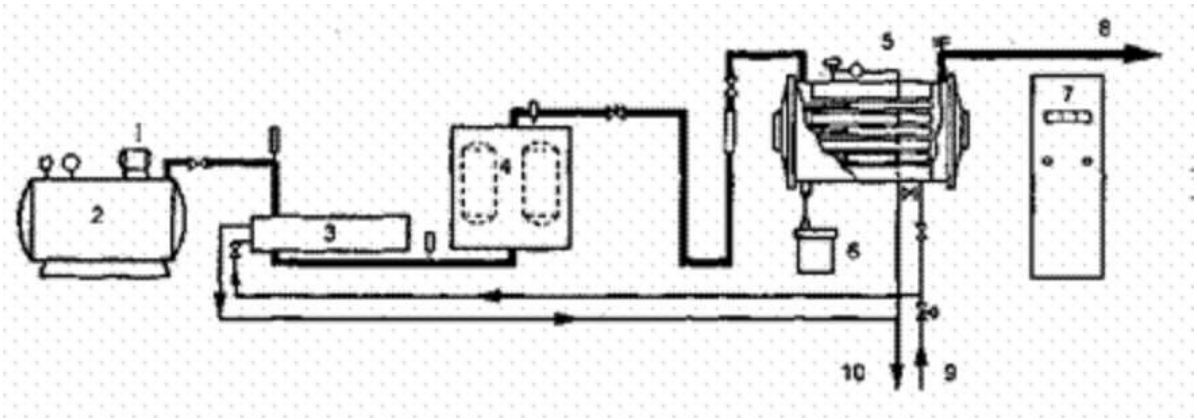


Рис. 3 «Схема установки получения озона»

1 – компрессор; 2 – ресивер; 3 – охладитель воздуха; 4 – сушилка; 5 – генератор озона; 6 – трансформатор; 7 – электрический щит; 8 – подача озоно-воздушной смеси; 9, 10 – подача и отведение охлаждающей воды.

Методы определения состояния водного объекта

Известно, что при органолептических наблюдениях особое внимание

обращают на явления, необычные для данного водоема или водотока и часто свидетельствующие о его загрязнении: гибель рыбы и других водных организмов, растений, выделение пузырьков газа из донных отложений, появление повышенной мутности, посторонних окрасок, запаха, цветения воды, нефтяной пленки и другое.

1. Запах

Запах воды вызывают летучие пахнущие вещества, поступающие в воду в результате процессов жизнедеятельности водных организмов, при биохимическом разложении органических веществ, при химическом взаимодействии содержащихся в воде компонентов, а также с промышленными, сельскохозяйственными и хозяйственно-бытовыми сточными водами.

На запах воды оказывают влияние состав содержащихся в ней веществ, температура, значения pH, степень загрязненности водного объекта, биологическая обстановка, гидрологические условия и так далее. Он характеризуется интенсивностью, которую измеряют в баллах.

Таблица 1. Определение интенсивности запаха воды

Оценка интенсивности запаха, баллы	*Интенсивность запаха*	*Характер проявления запаха*
0	никакого запаха	отсутствие ощутимого запаха
I	очень слабый	запах, не замечаемый потребителем, но обнаруживаемый специалистом
II	слабый	запах, обнаруживаемый потребителем, если обратить на это внимание
III	заметный	запах, легко обнаруживаемый, может быть причиной того, что вода неприятна для питья
IV	отчетливый	запах, обращающий на себя внимание, может заставить воздержаться от питья
V	очень сильный	запах, настолько сильный, что делает воду непригодной для питья

2. Мутность

Мутность природных вод вызвана присутствием тонкодисперсных примесей, обусловленных нерастворимыми или коллоидными неорганическими и органическими веществами различного происхождения.

Качественное определение проводят описательно: слабая опалесценция, опалесценция, слабая, заметная и сильная муть.

В соответствии с гигиеническими требованиями к качеству питьевой воды мутность не должна превышать 1,5 мг/ дм^3 по каолину.

Мутность воды определяют турбидиметрически (по ослаблению проходящего через пробу света) путем сравнения проб исследуемой воды со стандартными суспензиями.

3. Цветность

Показатель качества воды, характеризующий интенсивность окраски воды и обусловленный содержанием окрашенных соединений, выражается в градусах платиново-кобальтовой шкалы. Определяется путем сравнения окраски испытуемой воды с эталонами.

Цветность природных вод обусловлена главным образом присутствием гумусовых веществ и соединений трехвалентного железа.

Количество этих веществ зависит от геологических условий, водоносных горизонтов, характера почв, наличия болот и торфяников в бассейне реки и тому подобное.

Сточные воды некоторых предприятий также могут создавать довольно интенсивную окраску воды.

Цветность природных вод колеблется от единиц до тысяч градусов. Высокая цветность воды ухудшает ее органолептические свойства и оказывает отрицательное влияние на развитие водных растительных и животных организмов в результате резкого снижения концентрации растворенного кислорода в воде, который расходуется на окисление соединений железа и гумусовых веществ.

4. Прозрачность

Прозрачность (или светопропускание) природных вод обусловлена их цветом и мутностью, то есть содержанием в них различных окрашенных и взвешенных органических и минеральных веществ.

Воду в зависимости от степени прозрачности условно подразделяют на

прозрачную, слабоопалесцирующую, опалесцирующую, слегка мутную, мутную, сильно мутную. Мерой прозрачности служит высота столба воды, при которой можно наблюдать опускаемую в водоем белую пластину определенных размеров (диск Секки) или различать на белой бумаге шрифт определенного размера и типа (как правило, шрифт средней жирности высотой 3,5 мм).

Результаты выражаются в сантиметрах с указанием способа измерения.

Определение прозрачности воды - обязательный компонент программ наблюдений за состоянием водных объектов.

Увеличение количества грубодисперсных примесей и мутности характерно для загрязненных и эвтрофных водоемов.

5. Водородный показатель (pH)

Содержание ионов водорода (гидроксония - H_3O+) в природных водах определяется в основном количественным соотношением концентраций угольной кислоты и ее ионов.

Для удобства выражения содержания водородных ионов была введена величина, представляющая собой логарифм их концентрации, взятый с обратным знаком:

$$pH = - lg[H+].$$

Значение pH в речных водах обычно варьирует в пределах (6,5 - 8,5), в атмосферных осадках (4,6 - 6,1), в болотах (5,5 - 6,0), в морских водах (7,9 - 8,3).

Концентрация ионов водорода подвержена сезонным колебаниям.

Зимой величина pH для большинства речных вод составляет (6,8 -7,4), летом (7,4 - 8,2).

Величина pH воды - один из важнейших показателей качества вод.

Величина концентрации ионов водорода имеет большое значение для химических и биологических процессов, происходящих в природных водах.

От величины pH зависит развитие и жизнедеятельность водных растений, устойчивость различных форм миграции элементов, агрессивное действие воды на металлы и бетон.

Величина pH воды также влияет на процессы превращения различных форм биогенных элементов, изменяет токсичность загрязняющих веществ.

Промежуточное заключение:

Для визуального подтверждения важности всех представленных методов на качество и состояние воды, приведу пример лабораторного исследования.

С помощью метода «озонирование» и его результата (Рис. 4) можно проследить изменение запаха (только вживую), мутности, цветности, прозрачности и водородного показателя pH (с помощью лакмусовой бумажки) и сделать соответствующий вывод о последовательной очистке взятого для пробы образца.

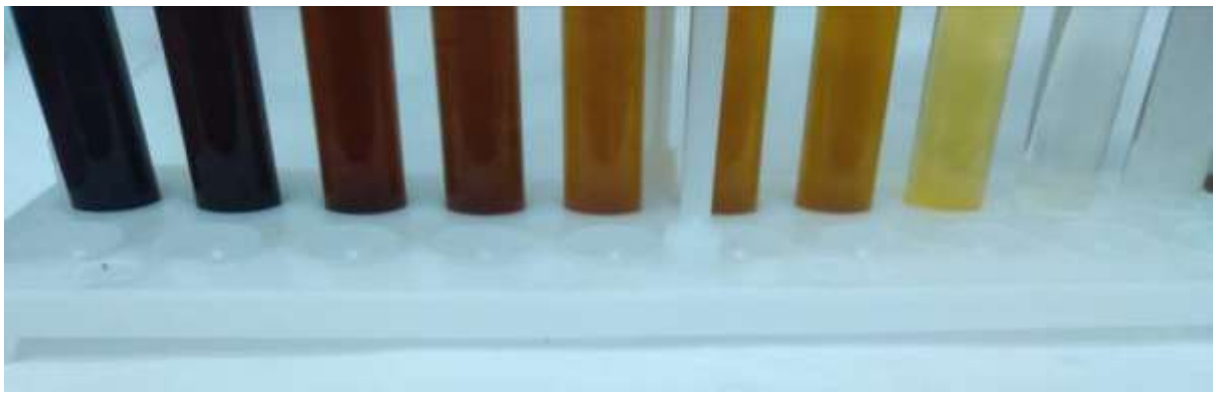


Рис. 4 «Результат лабораторного исследования методом озонирования»

Результаты лабораторных исследований

Ход работы: в лабораторных условиях

Осадок из вторичного отстойника обрабатывали в течение 5-15 минут в гидродинамической установке и анализировали его до и после кавитации по химическим и микробиологическим показателям.

Контроль процесса обработки проводили по показателям влажности и сухому остатку.

Контроль влияния процесса кавитации на жизнедеятельность микроорганизмов проводили по санитарно- бактериологическим показателям: общему микробному числу (сапрофитная микрофлора), бактериям группы кишечной палочки (БГКП), патогенным энтеробактериям (сальмонеллы).

Результаты физико-химических и санитарно-бактериологических показателей влияния процесса кавитации на осадок сточных вод представлены в таблице 2

Таблица 2.

Результаты исследований влияния процесса кавитации на физико-химические и бактериологические показатели осадка

Наименование пробы	Влажность осадка, %	Сухой остаток осадка,мг/см^3	Количество микроорганизмов в 1 см^3 пробы			Количество бактерий в 1см^3 осадка фактической влажности
			Общее микробное число, кол-во/см^3	БГКП	Патогенные энтеробактерии (сальмонелла)	
Осадок до обработки кавитацией	98,77	12,390	$1,29*10^8$	$1,6*10^6$	обнаружены	$1,29*10^9$
Осадок после обработки кавитацией	99,26	12,389	$7,1*10^7$	$3,0*10^5$	обнаружены	$3,0*10^6$

Анализ табличных данных:

физико-химические показатели в обеих пробах оказались примерно одинаковы, - это связано с поступлением на кавитационную установку осадка с большой плотностью и влажностью.

Также отмечены положительные изменения к уменьшению числа бактерий в осадке.

После двух часов обработки общее количество бактерий уменьшилось в 1,8 раза, а количество БГКП снизилась в 5,3 раза. Можно предположить, что при увеличении времени пребывания осадка в кавитационной установке, число бактерий снизится до нормативных значений. Зафиксировано недостаточное воздействие кавитации на подавление патогенных энтеробактерий, их присутствие наблюдалось до и после обработки пробы.

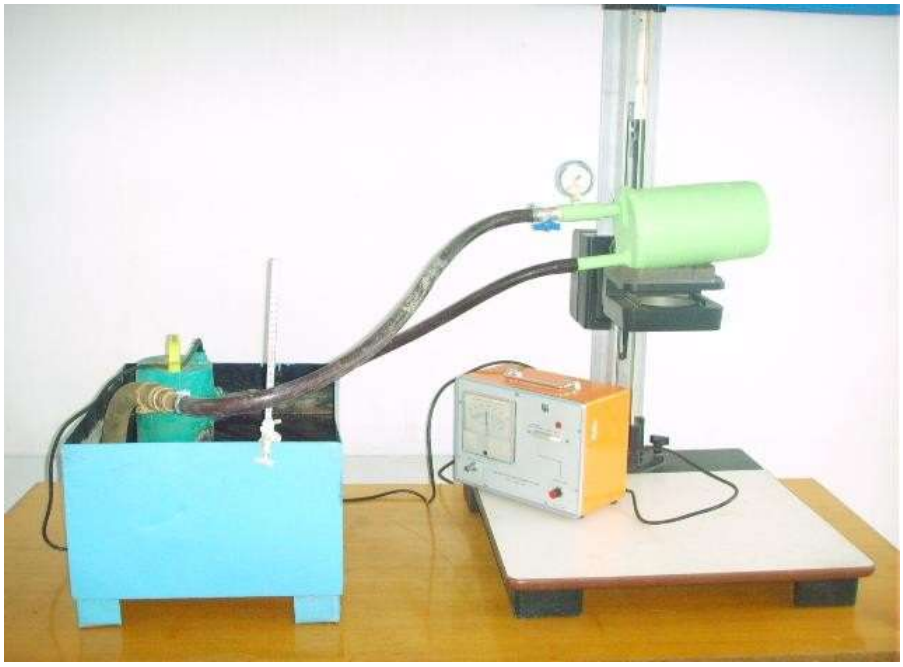


Рис. 5 «Лабораторное кавитационное устройство»

Данный модуль КУ, содержащий насос для прокачки воды, устройство для образования кавитационных пузырьков в воде-активатора и кавитатора отличается от других аналогичных устройств с регулирующим гидроударным барьером.

Отдавшая большую часть тепла в гидроударном объеме схлопывания вода из радиатора отопления по трубопроводу возвращается в насос и таким образом рабочий цикл во втором модуле заканчивается и может далее повторяться неограниченное количество раз.

В экспериментальных условиях, в зависимости от температуры теплоносителя на входном патрубке и объема прокачки установлено, что за один проход через устройство, теплоноситель (вода) нагревается до 10 °С.

Таким образом, при осуществлении предлагаемого способа использования эффекта кавитации появляется возможность в промышленном масштабе

преобразовать внутреннюю энергию жидкости (воды) в тепло

Выводы

Выбор метода обеззараживания обусловливается рядом таких факторов, как физико-химический состав сточных вод, экономичность, безопасность, возможность образования токсичных побочных продуктов в осадках, климатические особенности местности и так далее. В каждом отдельном случае выбор оптимальных решений и схем должен быть сделан на основании всестороннего технико-экономического и санитарно- экологического обоснования;

К недостаткам физических методов обеззараживания можно отнести их высокую энергоемкость, значительные затраты на оборудование, избирательное воздействие на группы микроорганизмов, неглубокое проникновение в слой обрабатываемого осадка.

Обработка осадка в кавитационной установке исключает всевышеперечисленные проблемы. Это принципиально новый, безопасный метод обработки, который требует поддержания определенных условий для обеспечения полного обеззараживающего эффекта.

Экспериментальные исследования по обработке осадка на модельной лабораторной кавитационной установке подтверждают эффективность данного метода. Наблюдается постепенное снижение патогенной микрофлоры. За два часа работы общее количество бактерий уменьшилось в 1,8 раза, а количество БГКП снизилась в 5,3 раза.

Патогенные микроорганизмы активного ила оказались устойчивыми к методу кавитации. Незначительный бактерицидный эффект физических методов, возможно, связан с высокой вязкостью осадка, неглубоким проникновением в слой, избирательным воздействием на определенные виды микроорганизмов.

Экономический эффект от предложенной технологии после усовершенствования работы установки заключается в том, что данный метод не требует применения дорогостоящих химических реагентов, что позволяет полностью исключить затраты на их приобретение; обработка осадка в

кавитационной установке может осуществляться на уже существующих очистных сооружениях, тем самым отсутствует потребность в строительстве новых сооружений; применение данного метода после усовершенствования основных параметров, позволит в короткие сроки проводить обработку осадка, тем самым быстрее освобождать площади земли, занятые под иловые площадки.

Необходимо произвести доработку основных параметров работы кавитационной установки, увеличить время пребывания осадка сточных вод в камере обеззараживания, чтобы обеспечить полный обеззараживающий эффект.

Список литературы

1. Сайт Воронежского Государственного Технического Университета: раздел «Наука и инновации», подразделы «Правила оформления статей» и «Примеры написания статей»;
2. Фомина И.Г. Методология исследования качества осадков сточных вод для возможности использования их в качестве удобрений: Сборник II Межотраслевой научно-практической конференции молодых ученых и специалистов., 2013 г;
3. Васильева Н.Б. Очистка сточных вод с использованием гидродинамической кавитации: тема диссертации и автореферата по ВАК РФ 05.23.04;
4. ГОСТ Р 17.4.3.07-2001 Охрана природы. Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений;
5. Яковлев С.В., Воронов Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод/ Учебник для вузов. – М.: АСВ, 2004. – 704 с;
6. Исследования по интенсификации методов очистки сточных вод // Сб. научн. трудов МИСИ. – М., 1987 г;
7. Батмангхелидж Ф. Вода для здоровья. / Минск: Попурри, 2004 г;
8. СанПиН 2.1.4.1074-01 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества, М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2001 г;
9. Сенявин М.М., Мясоедов Б.Ф. Основные свойства нормируемых в водах органических соединений. М.: Наука, 1987. 105 с.

Literature

1. The website of the Voronezh State Technical University: the section "Science and Innovation", subsections "Rules for the design of articles" and " Examples of writing articles»;
2. Fomina I. G. Methodology for studying the quality of wastewater sediments for the possibility of using them as fertilizers: Collection of the II Intersectoral scientific and practical conference of young scientists and specialists., 2013;
3. Vasilyeva N. B. Wastewater treatment using hydrodynamic cavitation: topic of the dissertation and abstract on the Higher Attestation Commission of the Russian Federation 05.23.04;
4. GOST R 17.4.3.07-2001 Nature protection. Soils. Requirements for the properties of sewage sludge when used as fertilizers;
5. Yakovlev S. V., Voronov Yu. V. Water disposal and wastewater treatment/ Textbook for universities. - M.: ASV, 2004. - 704 p.;
6. Studies on the intensification of methods of wastewater treatment / / Collection of scientific works of MISI. - M., 1987;
7. Batmanghelidjh F. Water for health. / Minsk: Potpourri, 2004;
8. SanPiN 2.1.4.1074-01 Drinking water. Hygienic requirements for the water quality of centralized drinking water supply systems. Quality Control, Moscow: Federal Center of Gossanepidnadzor of the Ministry of Health of Russia, 2001;
9. Senyavin M. M., Myasoedov B. F. Basic properties of organic compounds normalized in water. Moscow: Nauka, 1987. 10